

足場用 FRP パイプの経年劣化に対する安全性評価の検討

建設塗装工業 正会員 ○鈴木周一

建設塗装工業 正会員 福島 徹

宇部日東化成 玉川広一

1. 検討の目的

足場用 FRP パイプは、FRP の高い絶縁性、軽さなどの利点を生かし、鉄道橋や送電鉄塔用の足場材料として利用されている。パイプの開発は、平成 3 年に着手され、平成 8 年には、一般に販売されている。FRP 部材は、経年により若干の強度低下が生ずる場合のあることが報告されている¹⁾が、強度低下に伴う、廃棄の判断を適切に行う方法は、明確ではない。本検討では、足場用 FRP パイプの経年による強度低下を把握したうえで、これに伴う足場構造物の破壊確率の低下を試算し、経年に伴う廃棄基準の設定法について提案する。

2. 足場用 FRP パイプ経年品の強度低下傾向

主として塗装現場の足場用に用いられた FRP パイプについて、保管場所より取り出し、4 点曲げ載荷試験（試験スパン 1.8m）を実施した。

供試体の FRP パイプは、通常は屋外に野積みされており、現場には、経年に応じて使用されているが、使用回数などは、把握できていない。

4 点曲げ試験の結果を表-1 に示す。

表-1 によると、経年により曲げ破壊強度が徐々に低下する傾向がみられる。

これを図示すると図-1 のとおりとなる。

以下の検討においては、図-1 に示す二次曲線による回帰式を強度低下の傾向として用いる。

表-1 経年品の 4 点曲げ載荷試験結果（φ 49.2）

区 分	経 年 品				新 品
製造年	1994～ 1996	1996～ 2001	2001～ 2002	2006	2010
試験本数	14	6	6	6	10
平均強度	9.92 kN	10.49 kN	10.90 kN	11.03 kN	12.82 kN
標準偏差	0.645 kN	0.442 kN	0.415 kN	0.399 kN	0.185 kN
変動係数	0.0650	0.0422	0.00381	0.0362	0.0144

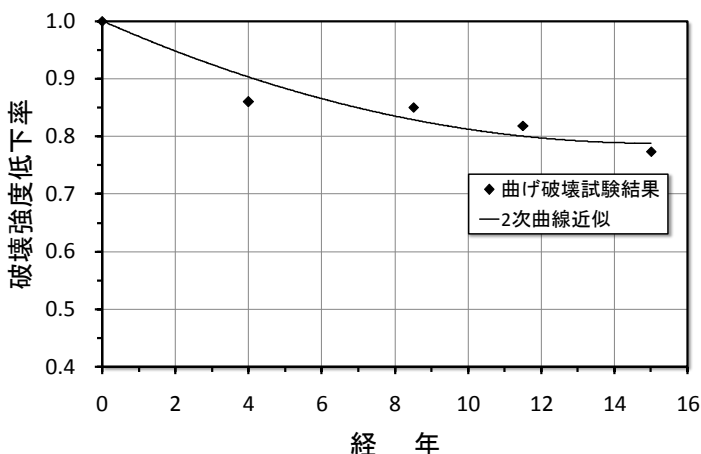


図-1 経年品の 4 点曲げ載荷試験結果（φ 49.2）

3. 信頼性理論による破壊確率の算定

著者らによる既往の検討成果²⁾を基に、経年 FRP パイプの破壊確率を求める。

破壊確率の断定は、古典的信頼性理論³⁾による。

信頼性理論によれば、荷重作用力 S 、部材抵抗 R がともに正規分布を示す場合、それらの平均 μ および標準偏差 σ を用いて、以下の式で破壊確率 P_f を評価することができる。

$$P_f = P\{Z < 0\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt = 1 - \Phi\left(\frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}\right) \quad \cdots (1)$$

ここに、 $\Phi(x)$ は標準正規分布の確率分布関数で、下記で定義される。

$$\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^X \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt \quad \cdots (2)$$

キーワード FRP, 足場, 経年劣化, 信頼性理論

連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田 3-2-1 建設塗装工業(株) TEL 03-3252-2511

(1) 荷重作用力

通常の塗替え塗装における作業者の配置をふまえ、対象スパン ($\ell=1.8\text{m}$) に塗装作業者が 1 名 (活荷重 $1,050\text{N}$) おり、他の作業者 1 名 (活荷重 $1,050\text{N}$) が同じ足場上に通りかかった場合を想定する。モンテカルロ法により、作業者、通過者の位置と発生曲げモーメントの確率分布を求め、確率変数を定める。一方、死荷重として、設計活荷重 $1,050\text{N}$ と同時に足場に載った場合に FRP パイプが許容応力度に達する強度を与え、これを定数とし、確率変数である活荷重との和を荷重作用力とする。

(2) FRP パイプ抵抗

新品の FRP パイプの曲げ破壊試験結果により、曲げ破壊荷重の平均値および変動係数を定める。

また、高温時に FRP パイプ強度の低下が生じることがわかっており、外気温の変動、外気温とパイプ表面温度の関係、パイプ温度とパイプ強度の関係をそれぞれ調査し、それらの統計値から高温時の影響を平均強度および変動係数として定める。

さらに、経年による強度低下については、**2.** で示した結果を用いて経年毎の強度低下およびその時の変動係数を定める。

表-2 経年品の破壊確率

(3) 破壊確率の算定

上記(1)、(2)の条件より、破壊確率を求めると表-2 のとおりである。

これをグラフにより示すと図-2 のとおりである。

破壊確率の評価については、既往の設計基準類からのキャリブレーション結果によるものや、独自の評価基準を定めたものなどがあるが、その 1 例として、ノルウェーの建築構造物設計示方書の許容破壊確率を表-3 に示す。重大でない建築物とは、仮設の事務所などが考えられ、 10^{-4} 程度の破壊確率が許容されることとなっている。

図-2 によれば、破壊確率が 10^{-4} に近づくのは、経年 15 年から 18 年程度である。したがって、ここで提案する方法によれば、経年品の廃棄の目安として、15 年程度を想定することができる。ただし、FRP パイプの経年による強度低下や温度影響など、今後、より多くのデータの収集分析が必要である。

区 分	経 年 品			
製造年	1994～ 1996	1996～ 2001	2001～ 2002	2006
破壊確率	2.58×10^{-6}	3.93×10^{-8}	2.62×10^{-9}	1.83×10^{-11}

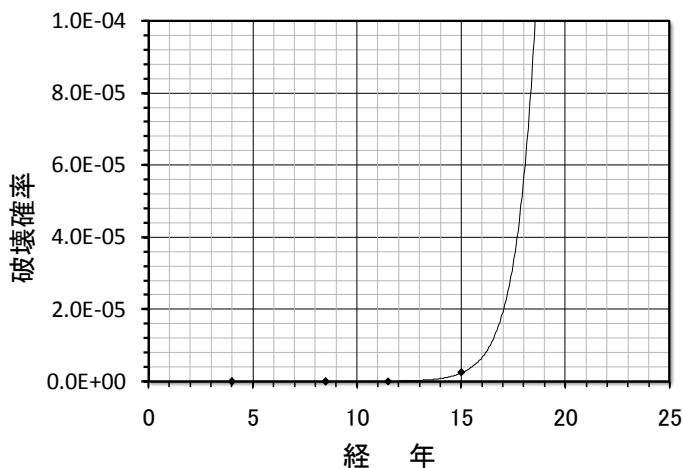


図-2 経年品の破壊確率

表-3 ノルウェーの建築構造物設計示方書の許容破壊確率

破壊の結果 (重大さ)	破壊モード		
	I	II	III
重大でない	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
重 大	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
大変に重大	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}

I : ひずみ硬化により耐力を保つ破壊モード II : 耐力を保たない破壊モード
III : ぜい性破壊および不安定

参考文献

- 1) 西崎 到ほか、建設構造用 GFRP の静的荷重載荷状態での屋外暴露試験による耐久性評価、第 8 回複合・合成構造に関するシンポジウム、(社) 日本建築学会・(社) 土木学会、2009 年 11 月
- 2) 鈴木 周一ほか、足場用 FRP パイプの安全率の検討、第 66 回土木学会全国大会、(公社) 土木学会、2011 年 10 年
- 3) Freudenthal, A. M., "The Safety of Structures", Trans. ASCE, 112(1947)